



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 17 481 A 1**

⑤① Int. Cl.7:  
**G 02 B 17/08**

⑳ Aktenzeichen: 101 17 481.0  
㉔ Anmeldetag: 7. 4. 2001  
㉕ Offenlegungstag: 10. 10. 2002

DE 101 17 481 A 1

㉗ Anmelder:  
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE  
  
㉘ Vertreter:  
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

㉚ Erfinder:  
Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbrunn, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Der Inhalt dieser Schrift weicht von den am Anmeldetag eingereichten Unterlagen ab

- ⑤4 Katadioptrisches Projektionsobjektiv  
⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein katadioptrisches Projektionsobjektiv mit  
einer Objektebene mit einem rechteckigen Objektfeld  
einem physikalischen Strahlteiler  
einem Konkavspiegel  
einer Bildebene  
einem ersten Objektivteil, wobei der erste Objektivteil  
zwischen Objektebene und physikalischem Strahlteiler  
angeordnet ist  
einem zweiten Objektivteil  
einem dritten Objektivteil.  
Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, daß  
der zweite Objektivteil einen Abbildungsmaßstab von  $1,0 \pm 0,2$  aufweist,  
der physikalische Strahlteiler nahe der Objektebene oder  
einer zur Objektebene konjugierten Ebene angeordnet ist  
und  
der physikalische Strahlteiler als Strahlteilerprisma aus-  
gebildet ist, dessen Seitenflächen einen dem Objektfeld  
als Rechteck mit Aspektverhältnis  $> 1$  angepaßten Quer-  
schnitt aufweist.

DE 101 17 481 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein katadioptrisches Projektionsobjektiv mit einer Objektebene mit einem rechteckigen Objektfeld, einem physikalischen Strahlteiler, einem Konkavspiegel, einer Bildebene, einem ersten Objektivteil, wobei der erste Objektivteil zwischen Objektebene und physikalischem Strahlteiler angeordnet ist, einem zweiten Objektivteil sowie einem dritten Objektivteil. Eine bevorzugte Verwendung derartiger Projektionsobjektive ist die Abbildung von Objekten mit Licht einer Wellenlänge  $< 258 \text{ nm}$ . [0002] Für Projektionsbelichtungsrichtungen, mit denen Muster von Fotomasken oder Strichplatten, die nachfolgend allgemein als Masken bezeichnet werden, auf mit lichtempfindlichen Materialien beschichtete Halbleiter-Wafer oder Glasplatten projizieren und belichtet werden, verwendet man optische Projektionssysteme höchster Auflösung. Um die Strukturbreite, die im wesentlichen durch die beugungsbegrenzte Auflösung limitiert ist, weiter zu verringern, werden für kleinste Strukturen bevorzugt VUV-Strahlen mit einer Wellenlänge von  $\leq 258 \text{ nm}$  verwendet. Ein Projektionssystem zum Einsatz im tiefen UV-Bereich ist aus der EP 0475020 A2 bekannt geworden.

[0003] Das in der EP 0475020 A2 gezeigte System umfaßt wenigstens ein katadioptrisches Eingangssystem sowie ein dioptrisches Ausgangssystem. Die abzubildende Maske liegt direkt auf einem Strahlteiler, vorzugsweise einem Würfel auf. Mit Hilfe des Strahlteilers wird ein Teil des von katadioptrischem System reflektierten Lichtes zum dioptrischen System hin abgelenkt.

[0004] Nachteilig an der Anordnung gemäß der EP 0475020 ist zum einen, daß ausschließlich Intensitätsstrahlteiler Verwendung finden, zum anderen, daß das abzubildende Objekt direkt auf dem Strahlteiler angeordnet ist. [0005] Die Verwendung von Intensitätsstrahlteilern hat den Nachteil, daß nur ein Bruchteil, beispielsweise 25% des die Maske durchtretenden Lichtes zum zu belichtenden Objekt, im vorliegenden Fall dem Wafer, gelangt.

[0006] Aus der US 5636066 ist ein katadioptrisches Projektionssystem mit Zwischenbild bekanntgeworden. Die Strahlteilung erfolgt geometrisch mit Hilfe eines Umlenkspiegels, der in der Spiegelmitte durchbrochen ist und für den vom katadioptrischen Teil am Hohlspiegel reflektierten Strahl eine Blende darstellt. Das System gemäß der US 5636066 ist derart aufgebaut, daß das Zwischenbild in der Blendenebene des Umlenkspiegels ausgebildet ist.

[0007] Ein weiteres System mit geometrischem Strahlteiler, der als Ablenkspiegel ausgeführt ist, ist aus der US-A-5691802 bekannt geworden. Bei dem aus der US-A-5691802 bekannten Projektionsobjektiv handelt es sich um ein solches mit Zwischenbild, wobei das Zwischenbild vor dem katadioptrischen Teilobjektiv im Bereich des ersten Teilobjektives ausgebildet wird. Nachteilig an dem aus der US-A-5691802 bekannten System ist, daß es sich aufgrund der geometrischen Strahlteilung zwingend um ein außeraxiales System handelt.

[0008] Bei der US-A-4302079 handelt es sich um ein System mit polarisationsoptischem Strahlteiler. Die Änderung der Polarisationsrichtung des von dem Konkavspiegel im katadioptrischen Objektivteil reflektierten Strahles wird mit Hilfe von induzierter Doppelbrechung geändert.

[0009] Die US-A-4896952 zeigt ein System mit polarisationsoptischem Strahlteiler, wobei die Änderung der Polarisationsrichtung in katadioptrischem Objektivteil mittels einer  $\lambda/4$ -Platte erreicht wird.

[0010] Die DD-C-215179 zeigt ebenfalls ein System mit physikalischem Strahlteiler, der als teildurchlässiger Strahlteilerwürfel ausgebildet ist. Das System gemäß der DD-C-

215179 weist zwei identische Spiegel an zwei der vier Seiten des Strahlteilerwürfels senkrecht zu einer vorgegebenen Ebene sowie zwei dioptrische Baugruppen an den anderen zwei Seiten des Strahlteilerwürfels auf. Die dioptrischen Baugruppen sind so ausgeführt, daß die Petzvalsumme von beiden Systemen die des Spiegels weitgehend kompensiert. [0011] Aus der EP-A-0350955 ist ein katadioptrisches Projektionsobjektiv ohne Zwischenbild bekannt geworden, bei dem zwischen Objekt - dem Retikel - und dem physikalischen Strahlteiler eine erste Linsengruppe bzw. ein erstes Teilobjektiv, zwischen physikalischem Strahlteiler und Hohlspiegel eine zweite Linsengruppe und zwischen physikalischem Strahlteiler und der Bildebene eine dritte Linsengruppe vorgesehen ist.

[0012] Die US-A-5808805 und die US-A-5999333 zeigen ein katadioptrisches Objektiv mit Zwischenbild und Strahlteiler sowie wenigstens zwei Teilobjektiven, wobei die Teilobjektive derart aufgebaut sind, daß das Zwischenbild in der Nähe der Strahlteilerfläche des physikalischen Strahlteilers zu liegen kommt. Als Strahlteiler wird gemäß der US 5808805 ein physikalischer Strahlteiler, beispielsweise ein Strahlteilerwürfel, verwandt; die US 5999333 zeigt auch die Verwendung eines Spiegels als geometrischen Strahlteiler.

[0013] Nachteilig an dem System mit geometrischer Strahlteilung ist, daß es sich hierbei um ein außeraxiales System handelt. Sowohl das aus der US-A-5808805 bekannte System wie das aus der US-A-5999333 weisen einen sehr großen Inzidenzwinkelbereich der auf die Strahlteilerfläche auftreffenden vom Konkavspiegel reflektierten rücklaufenden Strahlen auf.

[0014] Die US-A-5861997 zeigt ein System ähnlich der US-A-5808805 sowie der US-A-5999333 mit zwei Zwischenbildern, wobei ein Zwischenbild wiederum in der Nähe des Strahlteilers zum Liegen kommt, so daß am Strahlteiler große Inzidenzwinkel auftreten.

[0015] Durch den großen Winkelbereich, der auf die Strahlteilerschicht auftreffenden Strahlung wird die Bildqualität verringert, da die Reflektivität und die Transmission der Strahlteilerschicht vom Einfallswinkel auf die Strahlteilerschicht abhängen und insoweit bei unterschiedlichen Einfallswinkeln unterschiedliche Intensitätsverteilungen resultieren.

[0016] Um diesen Nachteil zu vermeiden, schlägt die EP-A-0602923 vor, vor den physikalischen Strahlteilern eine Linse vorzusehen, mit der die auf dem Strahlteiler auftreffende Strahlung parallelisiert wird.

[0017] Ein parallelisierter Strahlengang wird auch bei dem aus der US-A-5771125 bekannten katadioptrischen Projektionssystem realisiert. Nachteilig an der Anordnung gemäß der EP-A-0602923 und der US-A-5771125 ist, daß die positive Brechkraft des Spiegels im katadioptrischen Teil nicht kompensiert wird. Dies bedeutet, daß zwar der auf die Strahlteilerschicht auftreffende Strahl parallelisiert ist, nicht jedoch der nach der Reflexion am Konkavspiegel rücklaufende Strahl. Die Strahlteilerschicht wird dann in einer Richtung unter größeren Aperturwinkeln belastet. Dies wiederum hat zur Folge, daß keine reine Aufspaltung in die Polarisationsrichtungen erfolgen kann. Hieraus resultieren Doppelbilder und ein Kontrastverlust.

[0018] Um die Indizenzwinkel auf der Strahlteilerschicht zu minimieren, schlägt die DE-A-44 17 489 vor, bei einem katadioptrischen Projektionssystem mit physikalischen Strahlteiler objektseitig vor dem physikalischen Strahlteiler wenigstens eine Sammellinse zur Parallelisierung des auf die Strahlteilerschicht auftreffenden Lichtstrahles anzuordnen und nach dem physikalischen Strahlteiler im katadioptrischen Objektivteil eine zerstreulinsengruppe mit ei-

ner Zerstreulinse, um die Wirkung der Sammellinse zur Parallelisierung des auf die Strahlteilerschicht auftreffenden Strahles zu kompensieren. Des Weiteren ist eine weitere Sammellinse bildseitig nach dem Strahlteilerprisma vorgesehen, um die Wirkung der zerstreuerden Linsengruppe bei einem von dem Konkavspiegel zurücklaufenden Strahl im doppelten Durchtritt zu kompensieren.

[0019] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Anordnung anzugeben, mit der die Nachteile des Standes der Technik vermieden werden. Insbesondere soll eine Anordnung angegeben werden, die das Problem einer Erwärmung des Strahlteilers durch Strahlenbelastung vermeidet.

[0020] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, daß bei einem gattungsgemäßen Gerät der physikalische Strahlteiler nahe der Objektebene oder einer zur Objektebene konjugierten Ebene angeordnet ist und der Strahlteiler als Strahlteilerprisma ausgebildet ist, deren Seitenflächen ein dem Objektfeld als Rechteck mit Aspektverhältnis  $> 1$  angepaßten Querschnitt aufweist.

[0021] Durch die Anordnung des Strahlteilers nahe der Objektebene oder einer zur Objektebene konjugierten Ebene kann der Strahlteiler in Form einer aufgespalteten Säule ausgebildet werden. Zwar ist die Wärmebelastung bei einem derartigen Strahlteiler pro Volumeneinheit sehr groß, allerdings ist der Weg nach außen sehr kurz, so daß über die Außenflächen des Strahlteilers die Wärme sehr schnell abgeführt werden kann. Um die Inzidenzwinkel auf der Strahlteilerschicht zu minimieren, kann objektseitig vor dem physikalischen Strahlteiler eine Sammellinse bzw. eine sammelnde Linsengruppe zur Parallelisierung des auf die Strahlteilerschicht auftreffenden Lichtstrahls angeordnet sein.

[0022] Bevorzugt ist das Strahlteilerprisma ein polarisationsoptischer Strahlteiler, wobei der polarisationsoptische Strahlteiler ein polarisationsabhängiges, reflektierendes Schichtsystem umfaßt.

[0023] Um mit einem möglichst dünnen Schichtsystem für die polarisationsoptische Strahlteilung auszukommen, ist vorgesehen, den Strahlteiler derart anzuordnen, daß der Einfallswinkel auf das reflektierende Schichtsystem im wesentlichen den Brewster-Winkel des Schichtsystems bei der jeweiligen Wellenlänge der Beleuchtungslichtquelle entspricht. Dies ist insbesondere deswegen von Vorteil, da die Schichtdicken bei einer Anordnung unter diesem Winkel nur sehr dünn sein müssen, um die Totalreflektion zu gewährleisten, was wiederum eine geringere Erwärmung des Strahlteilers und damit weniger optische Fehler beispielsweise aufgrund von Wärmeausdehnung etc. bedeutet.

[0024] Um eine Erwärmung des Strahlteilers durch Strahlungsbelastung zu verringern, ist in einer vorteilhaften Ausführungsform vorgesehen, Kühleinrichtungen an den optisch nicht benötigten Flächen anzuordnen. Diese Kühleinrichtungen transportieren die Wärme, die im wesentlichen aus Absorptionen in der Teilerschicht herrühren, sehr schnell ab und verhindern so einen Wärmestau im Strahlteiler. Hierdurch gelingt es, die geometrische Abbildung in Reflexion stabil zu halten. Auch die induzierte Spannungsdoppelbrechung aufgrund eines Wärmegefälles ist vermindert.

[0025] Bevorzugt sind die Kühleinrichtungen Peltierelemente oder Luftkühler. Auch andere Ausführungsformen, beispielsweise wassergekühlte Kühleinrichtungen, sind denkbar.

[0026] Zur Farbkorrektur ist mit Vorteil vorgesehen, daß das katadioptrische Teilobjektiv wenigstens zum Teil Negativlinsen aufweist.

[0027] Neben dem katadioptrischen Projektionsobjektiv stellt die Erfindung auch eine Projektionsbelichtungsanordnung mit einem derartigen Projektionsobjektiv zur Verfü-

gung.

[0028] Besonders bevorzugt ist es, wenn man die Mittel zur Erzeugung von polarisiertem Licht in einer Blendenebene des Beleuchtungssystems der Projektionsbelichtungsanordnung anordnet, wobei die Blendenebene in einer zur Objektebene konjugierten Ebene liegt.

[0029] Generell sind zwei Ausführungsformen der Projektionsbelichtungsanordnung denkbar. Bei einer ersten Ausführungsform umfassen die Mittel zur Erzeugung von polarisiertem Licht in der Blendenebene Mittel zur Erzeugung von senkrecht zur Einfallsebene polarisiertem Licht.

[0030] Alternativ hierzu kann vorgesehen sein, daß das Licht parallel zur Einfallsebene polarisiert ist.

[0031] Als Mittel zur Änderung des Polarisationszustandes im zweiten Teilobjektiv des Projektionsobjektives kann ein  $\lambda/4$ -Plättchen niedrigster Ordnung vorgesehen sein. Hierdurch wird sichergestellt, daß trotz einer Konvergenz im Strahlweg noch eine im katadioptrischen Teilobjektiv  $\lambda/4$ -Wirkung erreicht wird. Die  $\lambda/4$ -Plättchen niedrigster Ordnung können vorzugsweise aus synthetischem Quarzkristall gefertigt sein.

[0032] Eine bevorzugte Verwendung der erfindungsgemäßen optischen Projektionsvorrichtung ist die Abbildung von Maskenmuster mit tiefem UV-Licht, vorzugsweise einer Wellenlänge die kleiner 258 nm ist. Bevorzugt wird zur Beleuchtung Laserlicht eingesetzt mit einer Wellenlänge von 193, 157 und 126 nm.

[0033] Obige bevorzugte Verwendung soll keinesfalls als einschränkend, sondern lediglich beispielhaft für den Einsatzbereich der erfindungsgemäßen Vorrichtung aufgefaßt werden.

[0034] Die erfindungsgemäße Anordnung zeichnet sich durch einen geringen Intensitätsverlust und kompakte Bauform aus. So wird gegenüber anderen bekannten Lösungen in katadioptrischer Bauform, beispielsweise Lösungen mit Spiegelstrahlteilern, bei dem erfindungsgemäßen System kein Überformat benötigt. Dadurch kann das System um etwa ein Drittel gegenüber bekannten Lösungen kleiner ausgeführt werden. Durch die Erfindung wird die Brauchbarkeit katadioptrischer Systeme für die tiefe UV-Lithographie erheblich gesteigert, insbesondere im Blick auf noch größere Aperturen.

[0035] Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Zeichnungen beispielhaft beschrieben werden.

[0036] Es zeigen:

[0037] Fig. 1 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Projektionsobjektives.

[0038] Fig. 2 eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Projektionsbelichtungsanordnung, bei der das auf die reflektierende Schicht des Strahlteilers auftreffende Licht senkrecht zur Einfallsebene polarisiert ist.

[0039] Fig. 3 eine zweite Ausführungsform der Projektionsbelichtungsanordnung, bei der der einfallende polarisierte Lichtstrahl parallel zur Einfallsebene der reflektierenden Schicht polarisiert ist.

[0040] In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen katadioptrischen Projektionsobjektives gezeigt. Der erste Objektivteil 100, der zwischen der Objektebene 1 und dem Strahlteiler 1000 liegt, der als Polarisationsstrahlteiler ausgelegt ist, umfaßt eine Sammellinse 101 mit Flächen 2, 3. An den ersten Objektivteil 100 schließt sich der Polarisationsstrahlteiler 1000 an. Der zweite Objektivteil 200 umfaßt sechs Linsen mit Flächen 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 im ersten Durchtritt sowie Flächen 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 im zweiten Durchtritt. Der Konkavspiegel mit Fläche 18 zählt nicht zum zweiten Objektivteil.

[0041] Der Polarisationsstrahlteiler 1000 ist des weiteren

im zweiten Durchtritt direkt vor dem Zwischenbild angeordnet. An das Zwischenbild Z schließt sich der dritte Objektivierteil 300 an, der vorliegend nicht näher dargestellt ist. Die Sammellinse 101 im ersten Objektivierteil 100 dient dazu, die von der Objektebene 1 einlaufenden Strahlen weitgehend zu parallelisieren, so daß im Bereich der Strahlteilerschicht des Strahlteilerprisma 1000 nur eine geringe Variation der Inzidenzwinkel der auftreffenden Strahlen vorliegt. Die refraktiven Elemente im zweiten Objektivierteil sorgen mit ihrer zerstreuernden Wirkung dafür, daß die Wirkung der Sammellinse 101, die in der Parallelisierung der auf die Strahlteilerschicht auftreffenden Strahlung liegt, weitgehend kompensiert wird und daß ein divergentes Strahlbündel auf den Konkavspiegel 18 trifft. Gemäß der Erfindung ist das Strahlteilerprisma 1000 ein polarisationsoptisches Strahlteilerprisma, dessen Seitenflächen einen dem Objektfeld als Rechteck mit Aspektverhältnis  $> 1$  angepaßten Querschnitt aufweist.

[0042] Der polarisationsoptische Strahlteiler; hat dann die Form einer Säule, mit kurzen Wegen zur Wärmeabfuhr.

[0043] Der dritte Objektivierteil 300 ist in Fig. 1 nicht vollständig dargestellt.

[0044] In Fig. 2 ist eine erste Ausführungsform einer Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfindungsgemäßen Projektionsobjektiv schematisch dargestellt.

[0045] Das in eine Bildebene 1034 mit dem erfindungsgemäßen Projektionsobjektiv abzubildende liegende Objekt bzw. Retide wird mit Objektebene 1 wird mit linear polarisiertem Licht vom Beleuchtungssystem 1004 der Projektionsbelichtungsanlage her beleuchtet. In einer Blendenebene 1003 des Beleuchtungssystems 1004, die zur Objektebene 1 konjugiert ist, sind Mittel zur Erzeugung polarisierter Strahlung angeordnet.

[0046] Das linear senkrecht zur Einfallsebene der Strahlteilerschicht 1016 polarisierte Licht wird an der Strahlteilerschicht nahezu vollständig in das zweite Teilobjektiv 200 des erfindungsgemäßen Projektionsobjektives reflektiert.

[0047] Damit möglichst geringe Intensitätsverluste auftreten, wird der Strahlteiler mit der Strahlteilerschicht 1016 derart angeordnet, daß das linear polarisierte Licht im wesentlichen unter dem Brewster-Winkel einfällt. Die für eine nahezu vollständige Reflexion erforderlichen Schichtaufbauten bzw. Schichtdesigns können dann sehr dünn ausgebildet werden, was insbesondere im Hinblick auf eine Erwärmung des Strahlteilers vorteilhaft ist. Außerdem ist es in einem solchen Fall möglich, daß die aufgrund der endlichen Schrittweite im Einfallswinkel gering variierenden Strahlen durch eine stetig variierende Bedampfungsschicht kompensiert werden können, um Phasenvariationen zu vermeiden und Helligkeitsvariationen zu verkleinern.

[0048] Das an der Schicht 1016 reflektierte Licht 1020 trifft hinter den Strahlteiler auf ein  $\lambda/4$ -Plättchen 1022. Nach Durchgang durch das  $\lambda/4$ -Plättchen ist der Strahl 1020 zirkular polarisiert. Mit Hilfe der Negativlinsen 1024 im zweiten Objektivierteil 200 des erfindungsgemäßen Projektionsobjektives werden Farbfehler korrigiert. Das auf den Spiegel 18 auftreffende Licht wird im wesentlichen vollständig reflektiert und die Richtung der Zirkularpolarisation hierbei um  $180^\circ$  von beispielsweise links nach rechts drehend geändert. Das reflektierte, zirkular polarisierte Licht tritt wiederum durch das im zweiten Teilobjektiv 200 angeordnete  $\lambda/4$ -Plättchen. Hierdurch wird eine Änderung der Polarisation von zirkular polarisiert zu linear polarisiert erreicht. Der nochmalige Durchtritt durch das  $\lambda/4$ -Plättchen bewirkt eine lineare Polarisation parallel zur Einfallsebene auf die Schicht 1016. Der linear polarisierte Strahl wird aufgrund seiner Polarisation durch Schicht 1016 nicht reflektiert, sondern transmittiert den Strahlteiler. Das transmittierte

Light wird an der Grenzschicht des Strahlteilers 1028 in Richtung des dritten Teilobjektives 300 reflektiert. Kurz hinter dem Strahlteiler 1000 wird ein Zwischenbild Z aufgebaut. Durch die Anordnung des Strahlteilers in der Nähe bzw. der Objektebene 1 bekommt der Strahlteiler die Form einer aufgespaltenen Säule. Durch einen derartigen Strahlteiler kann die Erwärmung derselben aufgrund von Strahlungsbelastung erheblich verringert werden. Um die Wärmeabfuhr aus dem Strahlteiler zu unterstützen, ist in einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, zusätzlich noch an den Stellen des Strahlteilers, die optisch nicht gebraucht werden, Kühleinrichtungen 1036 anzuordnen. Diese unterstützen die effiziente Wärmeabfuhr aus dem Strahlteiler. [0049] Durch Einbringen eines zweiten  $\lambda/4$ -Plättchen 1038 im dritten Objektivierteil 300 kann das Licht wieder zirkular polarisiert werden. Hierdurch können beispielsweise Schwankungen in der Helligkeitsintensität und Asymmetrien in der Abbildung vermindert werden. In der Bildebene 1034 befindet sich das zu belichtende Material, bspw. der Halbleiter Wafer.

[0050] In einer alternativen in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform der Erfindung wird als Strahlteiler wiederum ein optischer Strahlteiler eingesetzt, dessen reflektierende Schicht 1016 wiederum unter dem Brewster-Winkel angeordnet ist. Gleiche Bauteile wie in Fig. 2 werden in Fig. 3 mit denselben Bezugsziffern gekennzeichnet. Gegenüber Fig. 2 wird das Licht in der Blendenebene des Beleuchtungssystems parallel zur Einfallsebene polarisiert. Dementsprechend tritt es durch die reflektierende Schicht 1016 hindurch in das zweite Teilobjektiv 200. Im zweiten Teilobjektiv 200 ist wiederum ein  $\lambda/4$ -Plättchen 1022 zur Polarisationsumkehr angeordnet. Das vom Spiegel 18 des katadioptrischen Teilobjektives reflektierte Licht ist nach nochmaligem Durchgang durch das  $\lambda/4$ -Plättchen senkrecht zur Einfallsebene polarisiert und wird dementsprechend durch die Schicht 1016 vollständig reflektiert.

[0051] Wiederum ist der Strahlteilerwürfel in der Nähe des Zwischenbildes z angeordnet.

[0052] Um zu einer kompakten Bauform zu gelangen, kann im dritten Teilobjektiv 300 ein Umlenkspiegel 1052 vorgesehen sein.

[0053] Als bevorzugtes Material finden für die optische Elemente wie Linsen, Strahlteiler, etc. abhängig von der Wellenlänge der Beleuchtungsquelle unterschiedliche Materialien Verwendung. Bei einer Wellenlänge von 193 nm wird bevorzugt Quarzglas verwendet, das sich neben einer hohen Durchlässigkeit bei dieser Wellenlänge insbesondere auch durch einen sehr niedrigen Ausdehnungskoeffizienten von nur  $0,5 \times 10^{-6}$  auszeichnet. Bei Wellenlängen von 157 nm wird bevorzugt  $\text{CaF}_2$  als Material für die optischen Komponenten verwendet, bei einer Wellenlänge von 126 nm ein Material, das zumindest teilweise  $\text{LiF}$  umfaßt.

[0054] Mit der Erfindung wird erstmals ein Projektionsobjektiv vorgestellt, das sich durch eine sehr effiziente Wärmeabfuhr auszeichnet.

#### Bezugszeichenliste

1 Objektebene

2, 3 Flächen im 1. Objektivierteil

6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17 Flächen im zweiten Objektivierteil im ersten Durchtritt

18 Fläche des Konkavspiegels

19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 Flächen im zweiten Objektivierteil im zweiten Durchtritt

100 erster Objektivierteil

101 dritter Objektivierteil

1000 Strahlteilerprisma

1003 Blendenebene  
 1004 Beleuchtungssystem  
 1016 Strahlteilerschicht  
 1020 im Strahlteiler reflektiertes Licht  
 1022 erstes  $\lambda/4$ -Plättchen  
 1024 Negativlinsen  
 1028 Grenzschicht des Strahlteilers  
 1034 Bildebene  
 1036 Kühleinrichtung  
 1038 zweites  $\lambda/4$ -Plättchen  
 1052 Umlenkspiegel  
 Z Zwischenbild

## Patentansprüche

1. Katadioptrisches Projektionsobjektiv mit
  - 1.1 einer Objektebene (1) mit einem rechteckigen Objektfeld
  - 1.2 einem physikalischen Strahlteiler (1000)
  - 1.3 einem Konkavspiegel (18)
  - 1.4 einer Bildebene (1034)
  - 1.5 einem ersten Objektivteil (100); wobei der erste Objektivteil zwischen Objektebene (1) und physikalischem Strahlteiler angeordnet ist
  - 1.6 einem zweiten Objektivteil (200)
  - 1.7 einem dritten Objektivteil (300) dadurch gekennzeichnet, daß
  - 1.8 der zweite Objektivteil (200) einen Abbildungsmaßstab von  $1,0 \pm 0,2$  aufweist,
  - 1.9 der physikalische Strahlteiler nahe der Objektebene (1) oder einer zur Objektebene (1) konjugierten Ebene (1003) angeordnet ist und
  - 1.10 der physikalische Strahlteiler als Strahlteilerprisma (1000) ausgebildet ist, dessen Seitenfläche einen dem Objektfeld (1) als Rechteck mit Aspektverhältnis  $> 1$  angepaßten Querschnitt aufweist.
2. Katadioptrisches Projektionsobjektiv nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahlteilerprisma (1000) nach einer sammelnden Linse (101) oder Linsengruppe angeordnet ist.
3. Katadioptrisches Projektionsobjektiv gemäß einem der Ansprüche 1 bis 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahlteilerprisma ein polarisationsoptischer Strahlteiler ist, wobei der polarisationsoptische Strahlteiler ein polarisationsabhängiges, reflektierendes Schichtsystem (1028) umfaßt.
4. Katadioptrisches Projektionsobjektiv gemäß Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der polarisationsoptische Strahlteiler derart angeordnet ist, daß der Einfallswinkel des polarisierten Lichtes auf das reflektierende Schichtsystem (1028) im wesentlichen der Brewster-Winkel des Schichtsystems ist.
5. Katadioptrisches Projektionsobjektiv gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Strahlteilerprisma Kühleinrichtungen (1036) umfaßt.
6. Katadioptrisches Projektionsobjektiv gemäß einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Objektivteil (200) Mittel zur Änderung des Polarisationszustandes umfaßt.
7. Katadioptrisches Projektionsobjektiv gemäß einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Objektivteil Elemente (1024) mit negativer Brechkraft umfaßt.
8. Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie mit
  - 8.1 einer Lichtquelle

8.2 einem Beleuchtungssystem (1004) zum Beleuchten der Objektebene (1) eines Projektionsobjektes gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei das Beleuchtungssystem (1004) eine Blendenebene (1003) umfaßt, die in einer zur Objektebene konjugierten Ebene liegt, dadurch gekennzeichnet, daß

die Projektionsbelichtungsanlage

8.3 ein Projektionsobjektiv gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7 umfaßt.

9. Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie dadurch gekennzeichnet, daß in der Blendenebene Mittel (1003) zur Erzeugung von polarisiertem Licht angeordnet sind.

10. Verfahren zur Herstellung von mikroelektronischen Bauteilen mit einer Projektionsbelichtungsanlage gemäß einem der Ansprüche 8 bis 9.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

Fig.1

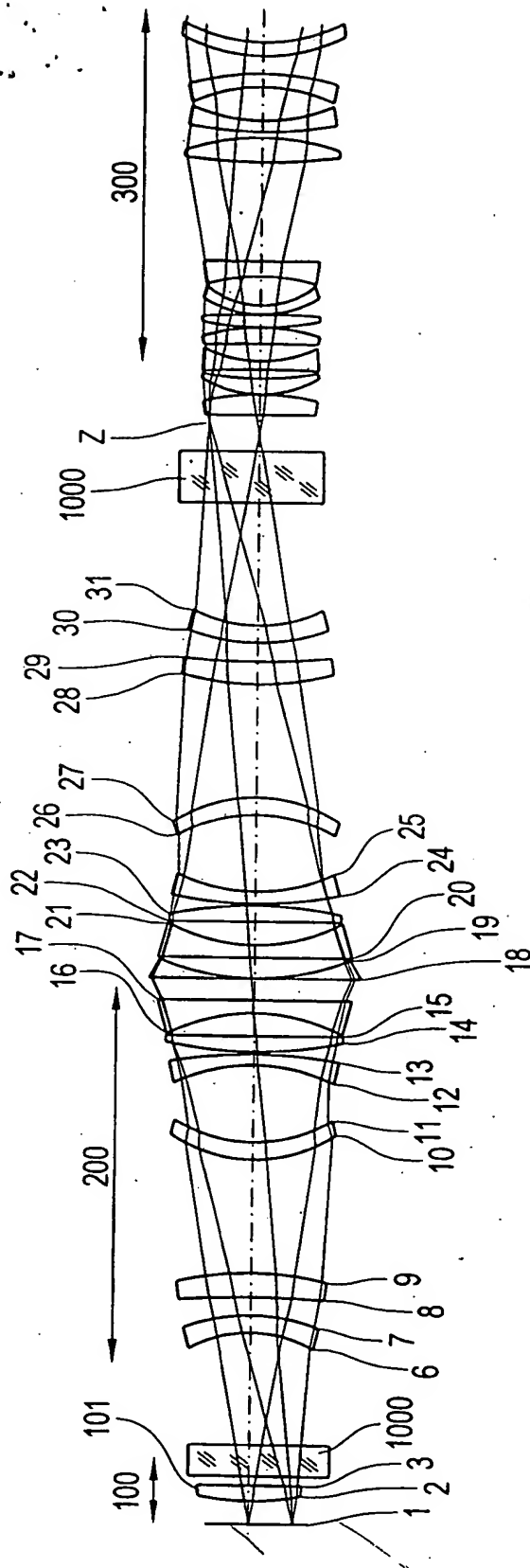


Fig.2

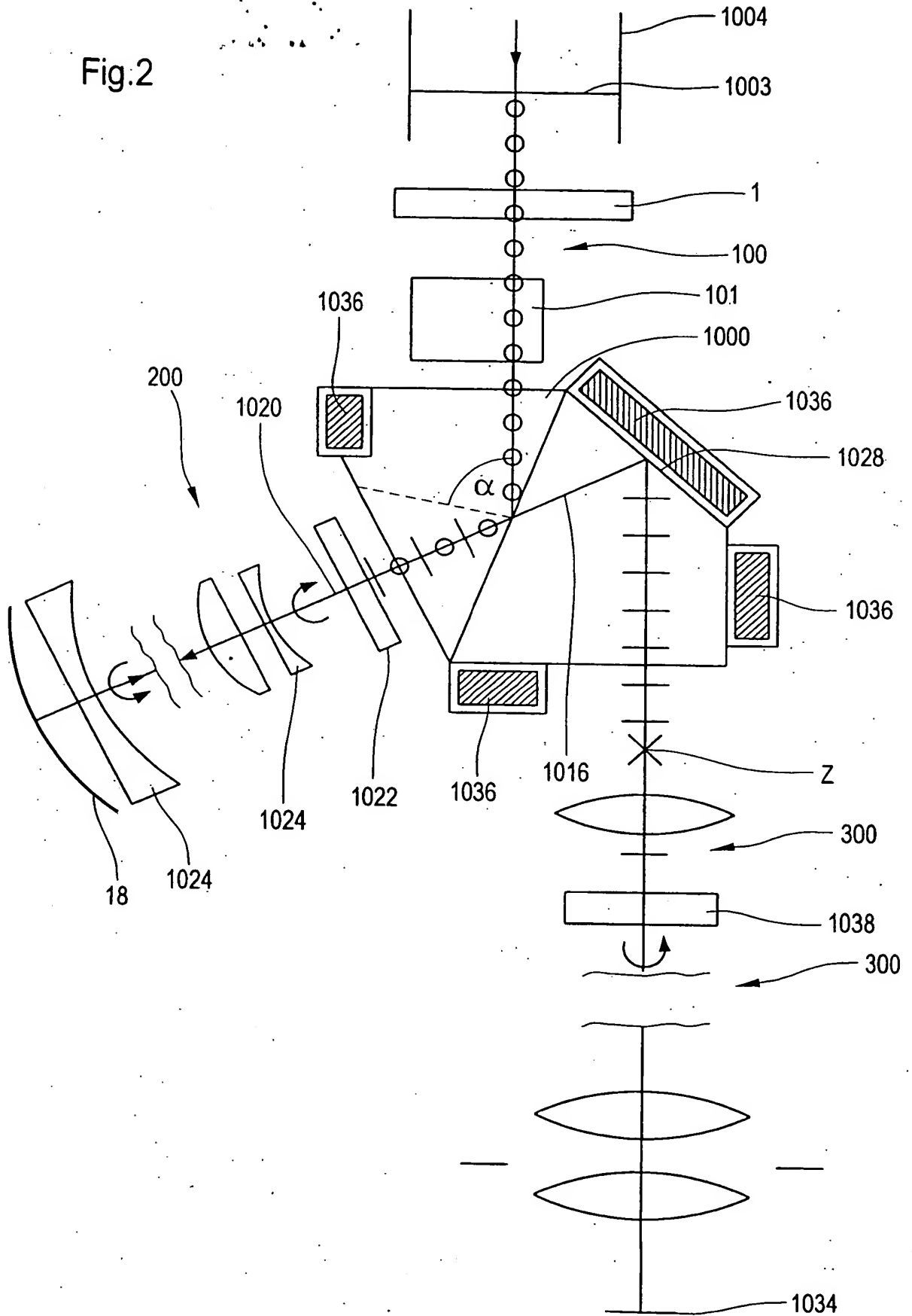
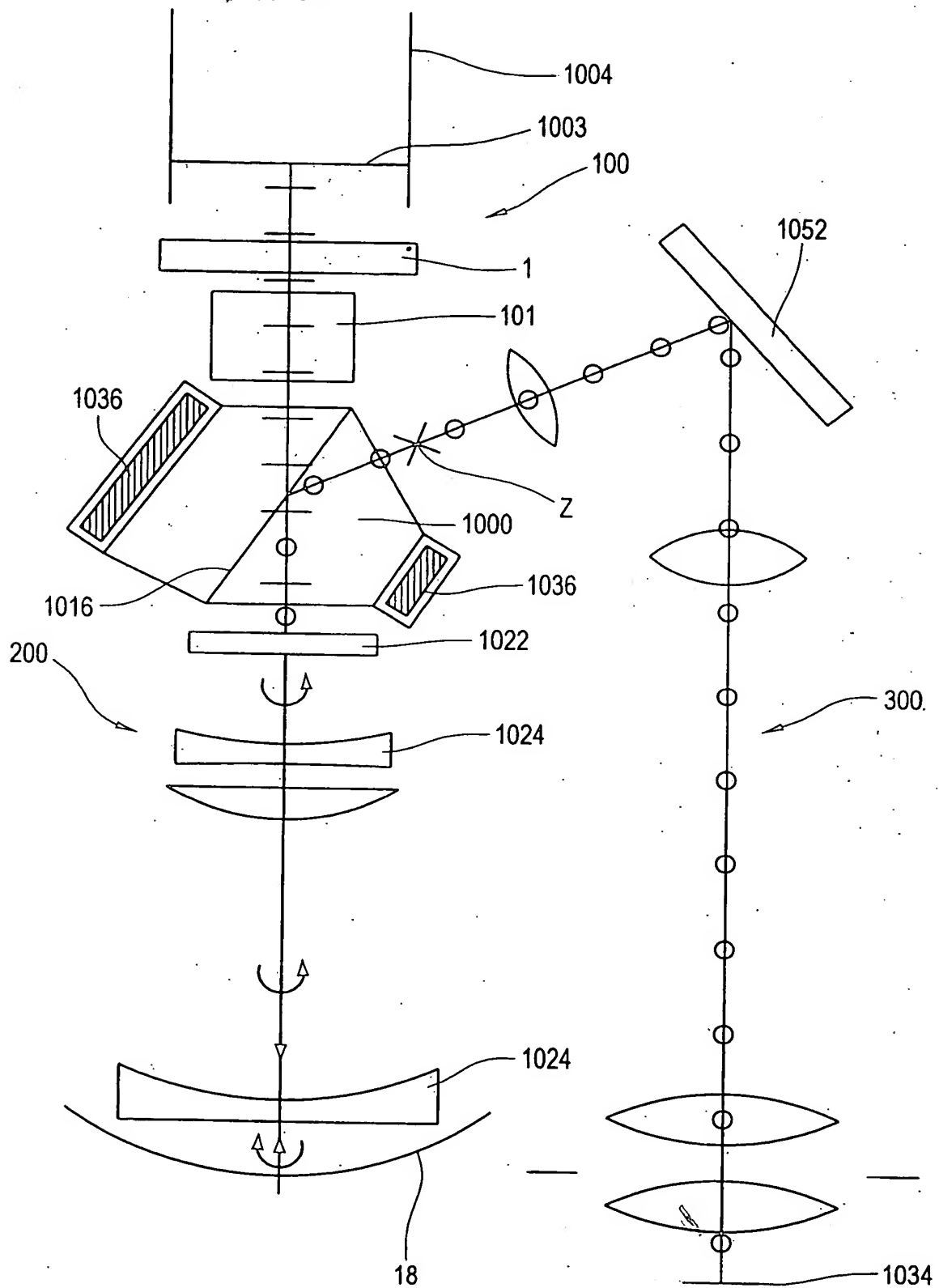




Fig.3



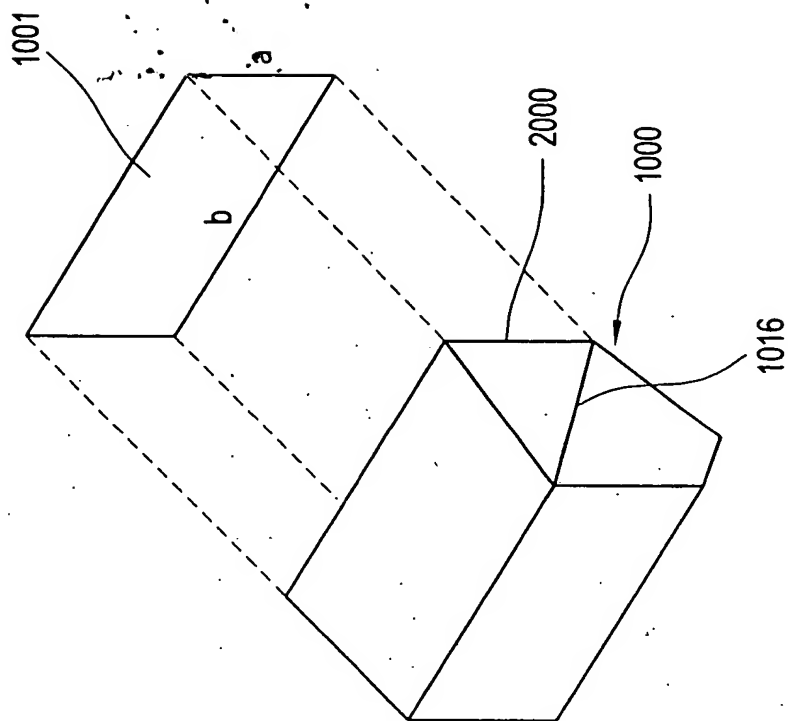


Fig.4